Aus dem Tropenmedizinischen Institut
Direktor: Professor Dr. H. J. Knüttgen
der Universität Tübingen

PHYSIOLOGISCHE REAKTIONEN IM BEREICH DER HITZETOLERANZGRENZE VOR UND NACH HITZEAKKLIMATISATION BEI EINER RUHENDEN VERSUCHSPERSON

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Theoretische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Wolfgang Zintl
aus Schwenningen

1979

Aus dem Tropenmedizinischen Institut
Direktor: Professor Dr. H. J. Knüttgen
der Universität Tübingen

PHYSIOLOGISCHE REAKTIONEN IM BEREICH DER HITZETOLERANZGRENZE VOR UND NACH HITZEAKKLIMATISATION BEI EINER RUHENDEN VERSUCHSPERSON

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Theoretische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Wolfgang Zintl
aus Schwenningen

1979

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. med. H. J. Mallach
Berichterstatter: Professor Dr. med. W. Höfler
Professor Dr. med. H. J. Knüttgen

M e i n e n E l t e r n

in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A. Einleitung	1
B. Methodik	5
1. Versuchsanordnung	5
2. Versuchsplan	10
3. Berechnungen	11
C. Ergebnisse	13
1. Vor der Akklimatisation	
2. Nach der Akklimatisation	26
D. Diskussion	38
E. Zusammenfassung	51
F. Literaturverzeichnis	53

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548922_0072

A. Einleitung

Die Frage, die im Zusammenhang mit den Klimawirkungen auf den Menschen meist als erste gestellt wird, betrifft die Belastungsgrenze unterhalb derer keine Hitzeerkrankungen vorkommen.
Jede Hitzebelastung stellt das Resultat des Zusammenwirkens einer Vielzahl von Einflußgrößen dar, die sowohl stoffwechsel- als auch klimabedingt sein können. Auf seiten des Klimas wirken Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung und Wärmestrahlung stets gleichzeitig. Die Wärmeproduktion des Körpers selbst ist abhängig von der Stoffwechselgröße und variiert nicht zuletzt mit der vom Menschen geleisteten Arbeit, die nach Art, Dauer und Schwere verschieden sein kann (WENZEL,1964). Zu berücksichtigen ist ebenfalls, daß verschiedene Individuen auf die jeweils gleiche Hitzebelastung unterschiedlich reagieren können. Hier spielen vor allem Konstitution, Kondition, Alter, Geschlecht, Ernährungszustand und wohl auch die psychische Einstellung eine Rolle (KIRN, 1964; WHO, 1969).

Von besonderer Bedeutung ist natürlich der Grad der Hitzeakklimatisation. Wie gezeigt werden konnte, wird nach Akklimatisation vor allem auf dem Wege einer verbesserten Schweißproduktion, eine nahezu gleichgroße Wärmeabgabe bei niedrigeren Rektal- und Hauttemperaturen erreicht, wenigstens in feuchtheißem Klima (HÖFLER et al.,1969). Einige Autoren versuchten, die Vielzahl der Einzelgrößen eines Klimas in einer einzigen Maßzahl zusammenzufassen, einem Klimasummenmaß, mit dessen Hilfe äquivalente Klimabedingungen leichter vergleichbar sein sollten. Eine Aufstellung der gebräuchlichsten Klimasummenmaße findet sich bei WENZEL (1964). Leider haben sich die KSM nicht als brauchbare Kriterien zur Erfassung von Hitzebelastungen erwiesen.

Ein anderer Ansatz bestand darin, die Auswirkungen des Klimas auf den Menschen zu untersuchen. Als Beurteilungskriterien dienten z.B. das Verhalten physiologischer Reaktionen, die Wärmebilanz des Körpers oder auch der Erholungsverlauf nach Hitzearbeit. Ebenfalls zur Beurteilung herangezogen wurde die Schweißproduktion über den Zeitraum von vier Stunden, die sogenannte P4SR (Predicted-four-hour-sweat-rate) (MC ARDLE et al., 1947).
Die meisten Vorschläge gehen dahin, zumutbare und unzumutbare, d.h. gesundheitsschädliche Hitzebelastungen anhand von physiologischen Parametern wie Rektaltemperatur, Hauttemperatur, Herzfrequenz und Schweißabgabe voneinander abzugrenzen. Dabei geht man von der Voraussetzung aus, daß sich gleichartige Belastungen in entsprechenden Änderungen dieser Größen ausdrücken. Da der Zeitfaktor bei einer Hitzeeinwirkung von Bedeutung ist, ist es sinnvoll, nicht Höchstwerte anzugeben, sondern den zeitlichen Verlauf zu beobachten.

Nach WENZEL (1968) sind gerade noch tolerable Bedingungen dadurch gekennzeichnet, daß Rektal- und Hauttemperaturen, Pulsfrequenz und Schweißabgabe ein steady state, also über mehrere Stunden konstant bleibende Werte aufweisen. Steigen diese Parameter nach mehreren Stunden noch weiter an, sind nicht mehr tolerable Bedingungen erreicht. In der Praxis stößt man nun aber auf gewisse Schwierigkeiten, das Erreichen dieser nicht mehr tolerablen Bedingungen - im folgenden Hitzetoleranzgrenze genannt - anhand der Kriterien von WENZEL mit der erforderlichen Genauigkeit zu erkennen.
Hier bietet sich nun das Verfahren von KOHLER (1976) an, der das Verhalten der Schweißabgabe bei akklimatisierter Vp als brauchbares Kriterium zur genaueren Bestimmung der Hitzetoleranzgrenze beschreibt. Gerade im Bereich hoher Raumtemperaturen stellt die Schweißverdunstung den dominierenden, wenn nicht einzigen Weg zur Wärmeabgabe dar (HÖFLER,1968).

In der vorliegenden Arbeit soll nun zum einen untersucht werden, inwieweit sich die Ergebnisse von KOHLER reproduzieren lassen, zum anderen soll der Frage nachgegangen werden, ob sich auch beim nicht Akklimatisierten die Klimagrenze auf die beschriebene Weise ermitteln läßt. Von besonderem Interesse sind dabei auch die Faktoren, die die begrenzende Wirkung ausüben.

GÄCKLE (1975) findet eine Abhängigkeit der Schweißproduktion vom Grad der Hitzebelastung im Bereich zwischen 33° C und 42° C Trockentemperatur bei gegebener Arbeitsschwere. Bei HÖFLER (1973) und JOCHER (1973) war in Arbeitsversuchen mit Trockentemperaturen zwischen 33,6° C und 41,4° C die Hitzetoleranzgrenze der akklimatisierten Vp im feuchtwarmen Bereich von der Verdunstungskapazität (der maximal möglichen Verdunstung) bestimmt. Dagegen war im trockenheißen Bereich die unzureichende Schweißproduktion der begrenzende Faktor. Zum selben Ergebnis kam ERTLE (1975). Nach GRUNDEL (1975) wird auch bei ruhender, sitzender Vp in akklimatisiertem Zustand schon knapp unterhalb der Toleranzgrenze das Verdunstungssoll erreicht. Voraussetzung dafür ist aber eine, unter gerade noch tolerablen Bedingungen ausreichende Schweißproduktion, die mindestens das Doppelte der jeweiligen Verdunstungskapazität beträgt (KERSLAKE,1963, HÖFLER et al. 1969, BALG, 1970, GRUNDEL, 1975).

Daraus ergibt sich die Frage, ob auch der n i c h t Akklimatisierte unter Versuchsbedingungen bei denen keine Arbeit geleistet wird, diese Voraussetzung erfüllen kann, oder ob er nicht in der Lage ist, diese erforderlichen Schweißmengen zu sezernieren. Ausgehend von den genannten Befunden sollen in der vorliegenden Arbeit die physiologischen Reaktionen an der Hitzetoleranzgrenze v o r und n a c h einer Hitzeakklimatisation miteinander verglichen werden.

Um die Zahl der Variablen möglichst gering zu halten, und um einen besseren Vergleich mit den Arbeiten von GRUNDEL und KOHLER zu gestatten, wurden die Versuche mit sitzender Versuchsperson durchgeführt. Ohne Arbeit kann mit besser von Versuch zu Versuch übereinstimmenden Ergebnissen gerechnet werden, weil man von einer nahezu konstanten Stoffwechselgröße ausgehen kann.
Zusammenfassend lauten die den Versuchen zugrundegelegten Fragestellungen:

- Wie verhalten sich die physiologischen Größen Hauttemperatur, Körpertemperatur, Pulsfrequenz und Schweißabgabe im Bereich der Hitzetoleranzgrenze?
- Wie wirkt sich die Hitzeakklimatisation auf das Verhalten der einzelnen Meßgrößen aus? Welche Bedeutung kommt dabei insbesondere der Schweißproduktion zu?
- Welche Auswirkungen hat die Hitzeakklimatisation in Bezug auf die Hitzetoleranzgrenze?
- Welche Faktoren sind bei nicht akklimatisierter Vp unter Ruhebedingungen für das Erreichen der Toleranzgrenze maßgebend und inwieweit werden diese durch die Akklimatisation beeinflußt?

B. Methodik

1. Versuchsanordnung

Die Versuche wurden in den Monaten Februar und März 1976 in der Klimakammer des Tropenmedizinischen Institutes der Universität Tübingen mit einer 27-jährigen, gesunden männlichen und sportlich trainierten Versuchsperson durchgeführt. Die Körperoberfläche betrug 1,77 m^2 (nach DUBOIS und DUBOIS,1915), das Gewicht 70 kg bei einer Körpergröße von 166 cm.
Die Trockentemperatur betrug 38,2° C bei einer Windgeschwindigkeit von 0,5 m/sec bei allen Versuchen, dagegen wurde die Luftfeuchte täglich variiert.
Die Vp war bei den Versuchen nur mit leichten Shorts bekleidet und befand sich mit Ausnahme der Akklimatisationsperioden und während der Bestimmung des Gewichtsverlustes in sitzender, ruhender Position in einem bequemen, mit Plastikschnur bespannten Sessel.
Zunächst wurden an dreizehn Versuchstagen - bei jeweils vierstündigem Klimakammeraufenthalt - die noch zu beschreibenden Messungen durchgeführt, wobei darauf zu achten war, daß durch die Hitzeexposition kein Akklimatisationseffekt auftrat. Deshalb wurde zwischen den einzelnen Versuchstagen jeweils mindestens ein Tag ohne Klimakammeraufenthalt eingeschoben. Anschließend folgte eine Akklimatisationsperiode von elf aufeinanderfolgenden Tagen, die nur durch einen Ruhetag unterbrochen war (WENZEL,1961). Dabei wurde über eine Zeitdauer von 3-4 Stunden eine Arbeitsleistung von 8 mkp/sec verrichtet, um eine schnellere Anpassung zu erreichen (HÖFLER,1968 und HAENSSLER,1973). Nach erfolgter Akklimatisation wurden an weiteren zehn Tagen Versuche unter denselben Bedingungen wie in den ersten 13 Tagen durchgeführt. Um jetzt das Akklimatisationsniveau zu halten, wurden keine Ruhetage mehr zwischen den einzelnen Versuchstagen eingelegt. Samstags fand jeweils

eine Hitzearbeit unter Akklimatisationsbedingungen statt, nur der Sonntag war ohne Versuche.
Während der Versuchstage wurden folgende Messungen an der Vp durchgeführt:

- Bestimmung des Gewichtsverlustes durch Schweißabgabe mit Hilfe einer auf ± 20 g genauen Waage. Die verlorene Flüssigkeit wurde stündlich durch körperwarmen Tee ersetzt, wobei der Trinkmenge der jeweils ersten Stunden eines Versuchstages eine Schätzung der voraussichtlichen Schweißabgabe zugrundegelegt wurde. Am ersten Tag betrug die Trinkmenge 500 ml, an den weiteren Tagen 300 ml in der 1. Stunde. Eine wesentliche Voraussetzung für eine möglichst gleichmäßige Schweißsekretion in den einzelnen Versuchsstunden war, daß die Trinkmenge in kleinen Schlucken gleichmäßig verteilt über die gesamte Versuchsdauer aufgenommen wurde (VOGEL,1977).

- Fortlaufende Registrierung der Pulsfrequenz mit Hilfe eines fotoelektrischen Pulszählers an der Ohrmuschel

- Registrierung der Rektaltemperatur mit einer ca. 10 cm tief eingeführten Thermistorsonde.

- Stündliche Kontrolle der Rektaltemperatur durch ein klinisches Quecksilberthermometer.

- Registrierung der Hauttemperatur durch Thermoelemente an sechs verschiedenen Punkten der Körperoberfläche: Stirn, Brust, Bauch, Unterarm, Ober- und Unterschenkel. Diese Einzelwerte, arithmetisch gemittelt, ergaben dann die mittlere Hauttemperatur.

- An den Versuchstagen T 18 - T 22 wurde in der zweiten Stunde für ca. 30-40 min. zur Bestimmung der Stoffwechselrate die Expirationsluft gesammelt (indirekte Kalorimetrie).

Der Ablauf eines Versuchstages ist der folgenden Darstellung zu entnehmen:

ca. 5 Min.	Anlegen der Meßsonden Messen der Rektaltemperatur Wägung und Eichen der Waage
60 Min. (1. h)	Messungen: Hauttemperatur alle 10 Min. Pulsfrequenz alle 10 Min. Rektaltemperatur alle 10 Min. mittels Sonde.
ca. 5 Min.	Wägung, Kontrolle der Rektaltemperatur mit dem klinischen Thermometer.
60 Min. (2. h)	Messungen wie in der ersten Stunde.
ca. 5 Min.	Wägung usw., wie oben
60 Min. (3. h)	Messungen wie in der ersten und zweiten Stunde.
	u.s.w.

Meßgeräte und Instrumente

Die Klimakammer selbst (Fa. Meissner u. Wurst, Stuttgart) ist 230 cm breit, 360 cm lang und 200 cm hoch. Sie wird von einem laminaren Luftstrom durchflossen, der vom Boden her zur Decke aufsteigt und durch den die Temperatur und die Befeuchtung der Luft geregelt wird.
Im Inneren befinden sich:

- Ein Fahrradergometer mit Wirbelstrombremsung nach E.A. MÜLLER, auf dem die Vp während der Akklimatisationsperiode eine Leistung von 8 mkp/sec vollbringen mußte. Die Trittgeschwindigkeit konnte durch einen elektrischen Schrittmacher kontrolliert werden.
- Eine auf ± 20 g genaue Toledo-Waage zur Bestimmung des Gewichtsverlustes durch Schweißabgabe.
- Ein mit Plastikschnüren bespannter Gartenstuhl mit Armlehnen.
- Ein trockenes und ein befeuchtetes, ventiliertes Widerstandsthermometer zur Messung von Trocken- und Feuchttemperatur. Die Thermometer waren an einen außerhalb der Kammer befindlichen Zweifarbenschreiben angeschlossen.
- Ein GLOBE-Thermometer zur Kontrolle der Strahlungstemperatur der Wandflächen.
- Thermoelemente zur Messung von Hauttemperaturen.
- Eine Thermistorsonde zur Messung der Rektaltemperatur.
- Ein fotoelektrischer Pulszähler nach E.A.MÜLLER zur fortlaufenden Messung der Pulsrate an der Ohrmuschel.
- Eine große Stoppuhr zur Zeitkontrolle.

Über eine Gegensprechanlage war eine Verständigung mit dem Vorraum möglich, in dem die Hauttemperaturen mit einem ther-

moelektrischen Registriergerät der Firma ELLAB, Kopenhagen aufgezeichnet wurden. Die Messung der Rektaltemperatur erfolgte mit dem Meßgerät der Firma Yellow Springs, die Aufzeichnung der Pulszahl mit dem fotoelektrischen Pulszähler nach E.A.MÜLLER (Firma Himmelmann, Dortmund). Zur Registrierung und Sammlung der Expirationsluft diente die Respirationsgasuhr des MPI für Arbeitsphysiologie in Dortmund. Die in einer Fußballblase gesammelte Exspirationsluft wurde in dem Stoffwechselgerät von Hartmann & Braun analysiert.

2. Versuchsplan

Windgeschwindigkeit: 0,5 m/sec
Trockentemperatur : 38,2° C

Versuchstag	Versuchsdauer Std.	Feuchttemperatur in °C	Wasserdampfdruck der Luft (Torr)	Arbeitsleistung
T 1	3	35,0	40,9	sitzen
T 2	4	34,0	38,0	
T 3	4	33,0	35,2	
T 4	4	32,0	32,6	
T 5	4	31,0	30,1	
T 6	4	30,0	27,6	
T 7	4	28,5	24,1	
T 8	4	27,0	21,1	
T 9	4	29,0	25,4	
T 10	4	30,5	28,6	
T 11	4	32,0	32,6	
T 13	4	35,0	40,2	
A 1	3	28,0	23,1	8 mkp/sec
A 2-A 11	4	29,0	25,4	
T 14	4	35,0	40,2	sitzen
T 15	4	34,0	37,7	
T 16	4	33,0	35,2	
T 17	4	31,0	30,1	
T 18	4	29,0	25,1	
T 19	4	30,0	27,6	
A 12	3	28-30		8 mkp/sec
T 20	4	31,0	35,2	
T 21	4	33,0	35,2	
T 22	4	35,0	40,2	sitzen
T 23	3	36,0	43,2	

T = Testversuche mit sitzender Vp

A = Akklimatisationsversuche mit Fahrradergometerarbeit

T 1 - T 13: vor Akklimatisation
T 14 - T 23 nach Akklimatisation

3. Berechnungen

Die Verdunstungsgröße V wurde aus einer modifizierten Wärmebilanz nach EICHNA et al. (1950) berechnet:

$$V = M \pm Q_{c,s} \pm \Delta Q$$

Der Energieumsatz M wurde aus dem Ruheumsatz (indirekte Kalorimetrie) bestimmt.

Der Konvektionswärmestrom Q_c beträgt

$$Q_c = F \times k_c \times (t_u - HT)$$

$$\text{wobei } k_c = 0{,}23 \times v^{0{,}62} \left(\frac{\text{kcal}}{m^2 \times h \times {}^{o}C}\right)$$

(CLIFFORD et al.,1959)

Der Strahlungswärmestrom Q_s:

Die Berechnung erfolgte nach dem Stefan-Boltzmann'schen Gesetz, doch konnte eine lineare Beziehung zwischen Q_s und der nur geringen Temperaturdifferenz Haut-Luft angenommen werden.
Als strahlende Oberfläche wurden für die sitzende, unbekleidete Person 80 % der geometrischen Körperoberfläche F angenommen (WINSLOW et al., 1936):

$$Q_s = k_s \times 0{,}8 \times F \; (t_u - HT)$$

$$\text{wobei } k_s = 5{,}9 \; \frac{\text{kcal}}{m^2 \times h \times {}^{o}C}$$

(MACHLE u. HATCH,1947)

Die Wärmeinhaltsänderung ΔQ errechnet sich aus

$$\Delta Q = 0{,}83 \times G \times (0{,}8 \times \Delta RT + 0{,}2 \times \Delta HT)$$

spezifische Wärme des Körpers: 0,83 kcal/kg x ^{o}C

(ASCHOFF,1960)

In heißer Umgebung kann man 80 % des Körpergewichtes mit dem Körperkern und 20 % mit der Körperschale gleichsetzen (ASCHOFF,1960).

Die Verdunstungskapazität C beträgt

$$C = F \times k_e \times (p_H - p_U)$$

$$\text{wobei } k_e = 0{,}45 \times v^{0{,}63} \; \frac{\text{kcal}}{m^2 \times h \times \text{torr}}$$

(CLIFFORD et al.,1959)

Abkürzungen:

F	=	Körperoberfläche, hier: 1,77 m^2 (nach DUBOIS u. DUBOIS,1915)
t_U	=	Trockentemperatur der Luft
HT	=	Hauttemperatur (Messung an 6 verschiedenen Stellen des Körpers, arithmetisches Mittel)
RT	=	Rektaltemperatur (Quecksilberthermometer)
G	=	Körpergewicht, hier: 70 kg
v	=	Windgeschwindigkeit, hier: 0,5 m/sec (100 ft/min)
p_H	=	Wasserdampfdruck auf der Hautoberfläche
p_U	=	Wasserdampfdruck der Luft

näheres bei van ACKEREN,1972

C. Ergebnisse

1. Vor der Akklimatisation:

Zunächst soll auf die Abbildungen 1 a-c näher eingegangen werden, in denen der zeitliche Verlauf von Rektaltemperatur, Hauttemperatur, Pulsfrequenz und Schweißmenge für die einzelnen Versuchstage - geordnet nach aufsteigender Feuchttemperatur - aufgetragen sind. Betrachtet man das Verhalten der S c h w e i ß a b g a b e vor der Akklimatisation an den Versuchstagen T 1 - T 13, so fällt auf, daß in einem weiten Bereich von Luftfeuchtewerten eine nahezu konstante Schweißabsonderung von ca. 200 - 250 ml/h über mehrere Stunden, unabhängig von der Feuchttemperatur, erfolgt. Am ersten Versuchstag T 1 mußten die Versuche schon nach der dritten Stunde abgebrochen werden, da die Klimagrenze eindeutig überschritten war und gesundheitliche Schäden befürchtet werden mußten. Bei hohen Feuchttemperaturen (Wasserdampfdruck der Luft größer als 40 Torr) wie an den Versuchstagen T 1 und T 13 fällt die Schweißproduktion nach der ersten Stunde mit jeder weiteren Stunde stärker ab. Besonders stark macht sich das bei T 1 bemerkbar. Hier beträgt die Schweißabgabe in der dritten Stunde nur noch weniger als die Hälfte der Schweißproduktion der ersten Stunde und weniger als die Hälfte der Schweißabgabe von T 13 in der dritten Stunde. Hieraus läßt sich zweierlei schließen:
Erstens scheint sich zu bestätigen, daß sich bei hohen Luftfeuchten im nichtakklimatisierten Zustand schnell eine Ermüdbarkeit der Schweißdrüsen einstellt (GERKING und ROBINSON, 1946; WYNDHAM et al., 1966). Zum zweiten muß angenommen werden, daß sich durch die Versuchstage T 1 - T 13 bereits ein Trainingseffekt auf die Schweißdrüsen ergab. Es ist somit doch durch die jeden zweiten Tag aufeinanderfolgenden Klimakammeraufenthalte bereits zu einer gewissen Akklimatisation gekommen.

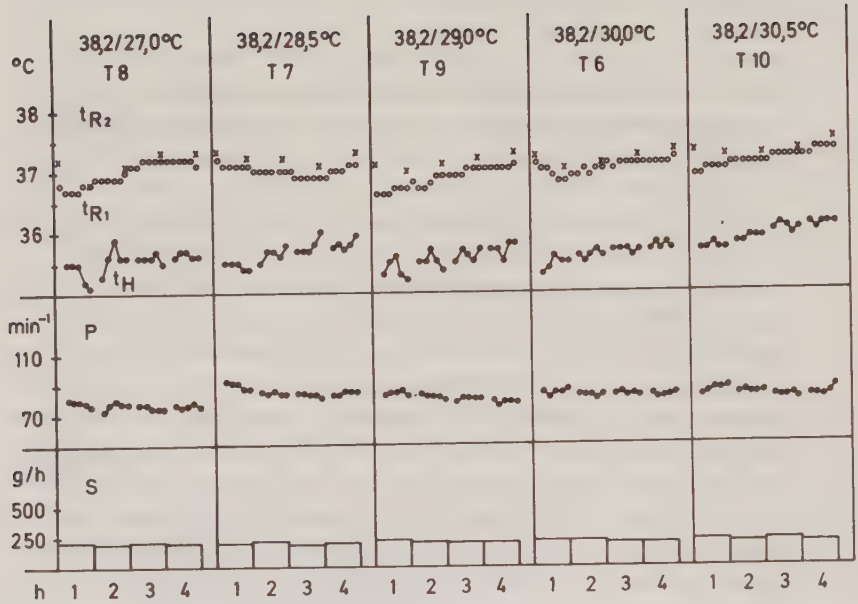

Abb. 1 a Verhalten von Rektaltemperatur t_R, Hauttemperatur t_H, Pulsrate P und Schweißmenge S an 5 Versuchstagen mit 38,2° Trockentemperatur und wechselnder Feuchttemperatur v o r Akklimatisation.

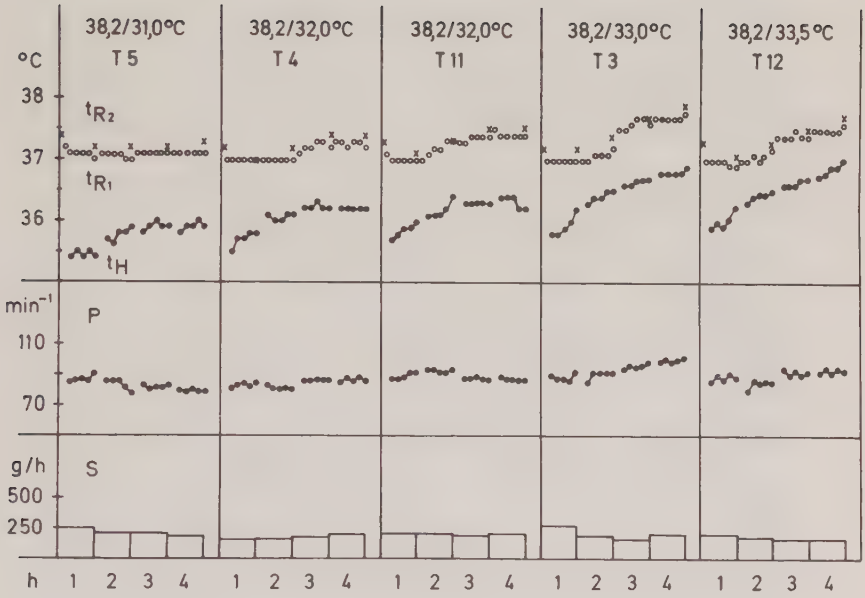

Abb. 1 b Darstellung wie Abb. 1 a (s.d.). Ein steady state aller Werte wird gerade noch bei einer Feuchttemperatur von 32,0° C erreicht (T 4 und T 11).

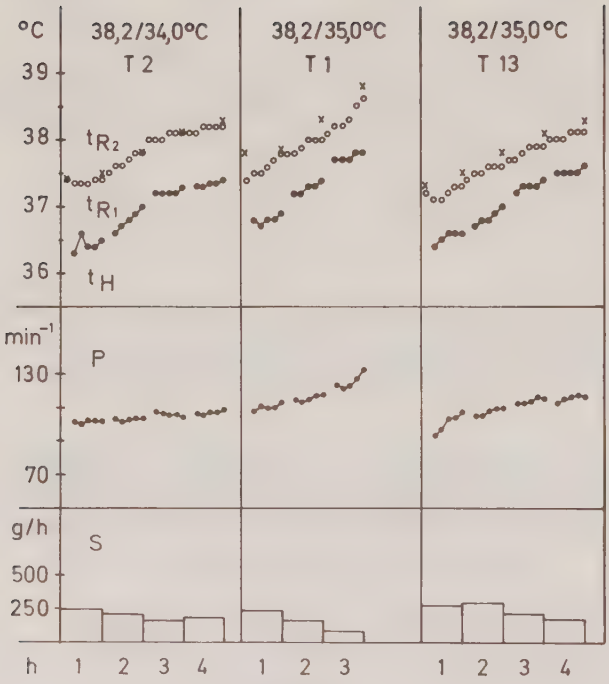

Abb. 1 c Darstellung wie 1 a

Die P u l s f r e q u e n z pegelt sich zunächst von einem Wert um 80/min bei niederer Feuchttemperatur an T 8 auf einen Wert um 90/min ein, bis sich dann am Versuchstag T 2 und T 13 eine zunächst ansteigende und an T 1 eine stark steigende Tendenz bemerkbar macht. Die Unterschiede zwischen T 1 und T 13 erklären sich vermutlich durch den unerwünschten Akklimatisationseffekte im Laufe der ersten Versuchsreihe. Dies zeigt sich auch deutlich im Verhalten der Körpertemperaturen, insbesondere der Rektaltemperatur, die am ersten Versuchstag wesentlich höhere Werte erreicht (38,8° C), eine Folge der viel zu geringen Schweißproduktion in der zweiten und dritten Stunde.
Vergleicht man allerdings den Verlauf der Pulsfrequenz mit R e k t a l - u n d H a u t t e m p e r a t u r e n , so fällt auf, daß diese sich nicht so synchron verhalten, wie man vielleicht annehmen sollte. Die Pulsfrequenz erreicht erstmals an T 2 ein höheres Niveau mit zunehmender Tendenz. Haut- und Rektaltemperaturen beginnen jedoch schon früher deutlich anzusteigen. Beide erreichen bereits merklich höhere Werte bei einer Feuchttemperatur von 33,0° C, ohne daß sie sich auf einem bestimmten Niveau einpendeln. Wie man sieht, ist eine genaue Festlegung der Hitzebelastungsgrenze aufgrund der Abb. 1 und 5 nach den Kriterien von WENZEL (1968) nicht möglich. Zwar lassen sich sicher noch tolerable von sicher nicht mehr zumutbaren Klimabedingungen abgrenzen, dazwischen bleibt jedoch ein Bereich von Luftfeuchtewerten, der nicht eindeutig die Klimagrenze erkennen läßt.

Am ehesten scheint es vertretbar, das Erreichen nicht mehr tolerabler Bedingungen der Feuchttemperatur von 33° C (T 3) zuzuordnen, bei der alle Parameter eindeutig ihr Niveau verlassen und eine ständig ansteigende Tendenz aufweisen. Ein steady state aller Werte findet sich gerade noch bei einer Feuchttemperatur von 32° C (T 4/T 11). Hier bietet sich nun eine genauere Analyse der Schweißsekretion an.

Nach LEITHEAD und LIND (1964) stellt das Schwitzen den Hauptschutzmechanismus des Körpers gegen Überhitzung dar. Dabei stellt die Schweißsekretion den dominierenden, wenn nicht einzigen Weg zur Wärmeabgabe dar (HÖFLER,1968). Durch Schwitzen kann sowohl die Temperatur der Haut als auch der Wasserdampfdruck auf der Hautoberfläche beeinflußt werden. Dadurch kann der Wärmetransport vom Körperkern zur Körperoberfläche und zugleich die Wärmeabgabe an die Umgebung reguliert werden. Entscheidend ist dabei der Wasserdampfdruck der umgebenden Luft, denn bei einem gegebenen Klima ist die verdunstende Schweißmenge abhängig von der Dampfdruckdifferenz zwischen der Hautoberfläche und der Umgebung (WHO,1969). Die Verdunstungskapazität C steht in einer linearen Beziehung zur Dampfdruckdifferenz Δ p: Je geringer diese wird, desto geringer wird die Verdunstungskapazität C (CLIFFORD et al.,1959).
In Abb. 2 ist die mittlere Schweißabgabe der 2. und 3. Stunden der einzelnen Versuchstage aufgetragen in Abhängigkeit von der Dampfdruckdifferenz Haut-Luft (pHT-pU). Der Kurvenverlauf wird verdeutlicht durch die erste Ableitung S' der S-Kurve.
Nach zunächst nahezu konstanter Schweißsekretion von ungefähr 220 - 230 g/h nimmt diese mit geringer werdenden Dampfdruckdifferenzen deutlich ab, um dann plötzlich wieder stark anzusteigen. Dieses sprunghafte Ansteigen der Schweißrate, verdeutlicht durch den Wendepunkt der S-Kurve bei 8,5 Torr Dampfdruckdifferenz, signalisiert das hier aufgetretene "Umkippen" des Wärmehaushaltes und muß als Klimagrenze aufgefaßt werden. Offensichtlich ist der Organismus nicht mehr in der Lage durch Verdunstung für eine ausreichende Wärmeabgabe zu sorgen, was mit einer überschießenden Schweißproduktion beantwortet wird.

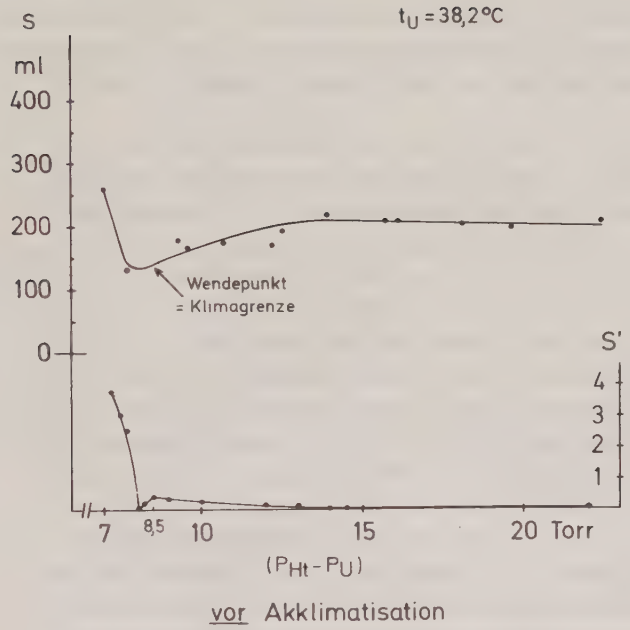

Abb. 2 Abhängigkeit der Schweißrate S (arithmetische Mittelwerte der 2. und 3. Stunden) von der Dampfdruck-differenz Haut-Luft ($p_{HT} - p_U$) bei der Trockentemperatur $t_U = 38{,}2^{o}$ C.
1. Ableitung S' der S-Kurve

Auffallend ist das Absinken der Schweißsekretion bei Dampfdruckdifferenzen zwischen 13,5 und 8,5 Torr. Eine weitere Steigerung der Schweißproduktion wäre eher zu erwarten gewesen. Dies kann nicht damit erklärt werden, daß an den ersten Versuchstagen (T 1 - T 5) - bei annähernd gleichen Dampfdruckdifferenzen - wie an späteren Versuchstagen (T 10 - T 12), wegen noch nicht ausreichender Akklimatisation weniger Schweiß sezerniert wurde.

Berücksichtigt man nur die Schweißabgabe der Versuche T 10 - T 12, so ergibt sich im genannten Bereich von Dampfdruckdifferenzen gleichfalls ein fallender Verlauf der Schweißkurve (vgl. Tab. 2) bis zum kritischen Bereich an der Klimagrenze. Die Ursache dafür ist wahrscheinlich in dem bereits erwähnten Phänomen der Hydromeiosis zu suchen, einer beim Nichtakklimatisierten auftretende Verquellung der Schweißdrüsenausführungsgänge unter erschwerten Verdunstungsverhältnissen (WHO,1969). Um so eindrucksvoller ist dann das starke Wiederansteigen der Schweißmenge nach Erreichen der Klimagrenze.

Nach JOCHER (1973) kann bei einer bestimmten Arbeit und einer bestimmten Hauttemperatur, Rektaltemperatur und Pulsfrequenz maximal nur eine gewisse Schweißmenge produziert werden. Ebenso besteht eine Abhängigkeit der Schweißabgabe von der Luftfeuchtigkeit (WENZEL,1968), und damit von der Verdunstungskapazität C. Somit müßte S/C gegenüber $(p_{HT} - p_U)$ im Diagramm einen ähnlichen Verlauf aufweisen wie S in Abb. 2. Um die zu der nach Abb. 2 bestimmten Klimagrenze gehörige Luftfeuchtigkeit zu erhalten, wurden in Abb. 3 zusätzlich zu der Beziehung $S/C = f\ (p_{HT} - p_U)$ noch die Dampfdruckwerte der Luft an den einzelnen Versuchstagen eingetragen. Die Klimagrenze läßt sich damit einfach auf die Kurven der Umgebungsdampf-

Tab. 2 Dampfdruckdifferenzen (Haut-Luft), Schweißsekretion (Mittelwerte der 2. und 3.h), Rektaltemperaturen (Ende der 3. h) und Hauttemperaturen (Mittelwerte der 2. und 3.h) an einigen Versuchstagen v o r Akklimatisation.

Versuchstag	pHT-pU Torr	S (Kcal/h)	RT (°C)	HT (°C)
⟶ T 13	7,0	302	38,1	37,0
⟶ T 1	7,6	151	38,8	37,5
⟶ T 2	9,3	215	38,1	37,0
⟶ T 12	9,6	196	37,5	36,5
⟶ T 3	10,7	203	37,7	36,5
T 4	12,2	197	37,4	36,1
T 11	12,5	226	37,5	36,2
T 5	13,9	255	37,2	35,9
T 10	15,7	244	37,3	35,9
T 6	16,1	244	37,2	35,6

Die mit einem Pfeil gekennzeichneten Versuchstage liegen jeweils oberhalb der Klimagrenze.

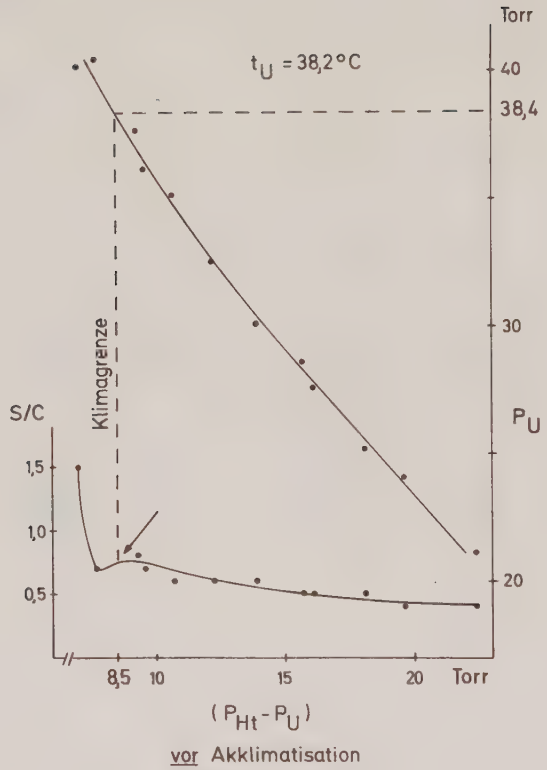

Abb. 3 Verhalten von S/C gegenüber der Dampfdruck-differenz der Haut-Luft (p_{HT} - p_U) vor Akklimatisation. Toleranzgrenze am Wendepunkt der S/C-Kurve bei 8,5 Torr. Bestimmung der relativen Luftfeuchtigkeit an der festgestellten Klimagrenze mit Hilfe der dazugehörigen p_U-Kurve.

drucke graphisch übertragen. Es ergibt sich hier ein p_U von 38,4 Torr. Die relative Feuchte errechnet sich aus

$$\frac{p_U}{p_S} \cdot 100 = \frac{38,4}{50,2} \cdot 100 = 76,5\ \%$$

was einer Feuchttemperatur von 34,2° C entspricht (p_S = Sättigungsdampfdruck bei Hauttemperatur).

Aufgrund des Verhaltens von Pulsfrequenz, Rektal- und Hauttemperatur in Abb. 1 nach den Kriterien von WENZEL (1968) wird ein steady state aber gerade noch am Versuchstag T 11 / T 4 bei einer Feuchttemperatur von 32,0° C erreicht. Die Klimagrenze müßte zwischen 32,0° C und 33,0° C Feuchttemperatur gesucht werden. Die Richtigkeit dieser Grenze läßt sich hier durch die Abb. 3 nicht bestätigen. Es ist daher anzunehmen, daß v o r Akklimatisation die Schweißabgabe kein geeignetes Kriterium für die Festlegung einer Klimagrenze in der hier gezeigten Weise darstellt, da sie offenbar nicht genügend genau mit der Belastungshöhe korreliert, und die Vp nicht immer im erforderlichen Maße Schweiß zu sezernieren vermag, was wiederum zu höheren Hauttemperaturen führen muß.

In Abb. 4 sind Pulsfrequenz, Rektal- und Hauttemperatur in in Abhängigkeit von der Dampfdruckdifferenz (Haut-Luft) aufgetragen. An der P u l s f r e q u e n z läßt sich die Belastung für den Organismus am besten ablesen. Zunächst ist die PF mit Werten um 80/min unabhängig von der Dampfdruckdifferenz, um dann mit geringer werdendem Dampfdruck anzusteigen; und zwar fällt der Beginn dieses Anstiegs mit dem Abfall der Schweißrate in Abb. 2 bei 13,9 Torr zusammen.

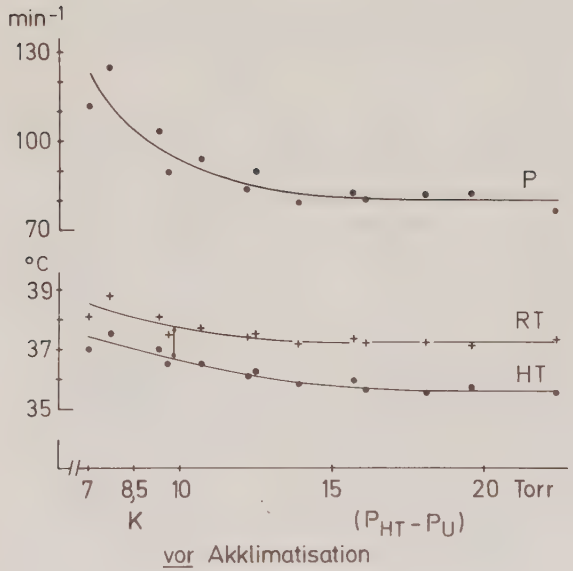

Abb. 4 Abhängigkeit von Pulsfrequenz P, Rektaltemperatur RT und Hauttemperatur HT von der Dampfdruckdifferenz Haut-Luft ($P_{HT} - P_U$).
Bei 9,8 Torr erreicht der innere Temperaturgradient den Wert von 1,0° C (siehe Pfeil).

R e k t a l - u n d H a u t t e m p e r a t u r e n verhalten sich ähnlich, jedoch steigt die Hauttemperatur schon früher an und im Vergleich zur Rektaltemperatur auch steiler, so daß der von LEITHEAD und LIND (1964) angegebene Grenzwert für den inneren Temperaturgradienten von 1,0° C schon bei 9,8 Torr Dampfdruckdifferenz erreicht wird. Die Verläufe der 3 Größen PF, RT und HT lassen also schon wegen ihrer fehlenden Übereinstimmung keine Entscheidung über die Richtigkeit der in Abb. 2 und Abb. 3 ermittelten Klimagrenze zu.

2. Nach der Akklimatisation:

Abbildung 5 a und b zeigt analog zu Abb. 1 a-c die Übersicht über die einzelnen Meßwerte an den Versuchstagen T 14 - T 23. Sehr deutlich lassen sich hier schon die Auswirkungen der Akklimatisation ablesen.

Bei niedrigen Feuchttemperaturen findet sich zunächst keine merkliche Steigerung der Schweißabgabe, an T 15 setzt jedoch eine deutliche Steigerung in der zweiten Stunde ein. Rektal- und Hauttemperaturen sind am Ende der vierten Stunde deshalb auch niedriger als bei vergleichbaren Feuchttemperaturen vor der Akklimatisation (T 2). Das gleiche gilt für die Pulsfrequenz.
Zwar hat an den Versuchstagen T 1 - T 13 schon eine gewisse Akklimatisation stattgefunden - wie eingangs festgestellt wurde - jedoch konnte diese durch die Hitzearbeit an den Tagen A 1 - A 11 wesentlich gesteigert werden. Wenn also bei einer bestimmten Feuchttemperatur und gleichen Schweißmengen n a c h Akklimatisation die anderen physiologischen Parameter weniger stark ansteigen, so muß angenommen werden, daß durch die Akklimatisation eine Änderung der regionalen Schweißverteilung zugunsten der Extremitäten erfolgte, mit dem Effekt einer Steigerung der Verdunstung (HÖFLER,1968; van ACKEREN,1972). Hierauf soll später anhand der Abb. 10 nocheinmal eingegangen werden.

Naheliegend scheint auch ein Vergleich der Versuchstage T 14 und T 22. An beiden Tagen herrschte die gleiche Feuchttemperatur (35°C). Die Schweißmengen sind in allen vier Stunden am vorletzten Versuchstag (T 22) höher als am ersten Versuchstag nach Akklimatisation (T 14), die Pulsraten lassen keinen Unterschied erkennen, jedoch die Körpertemperaturen.

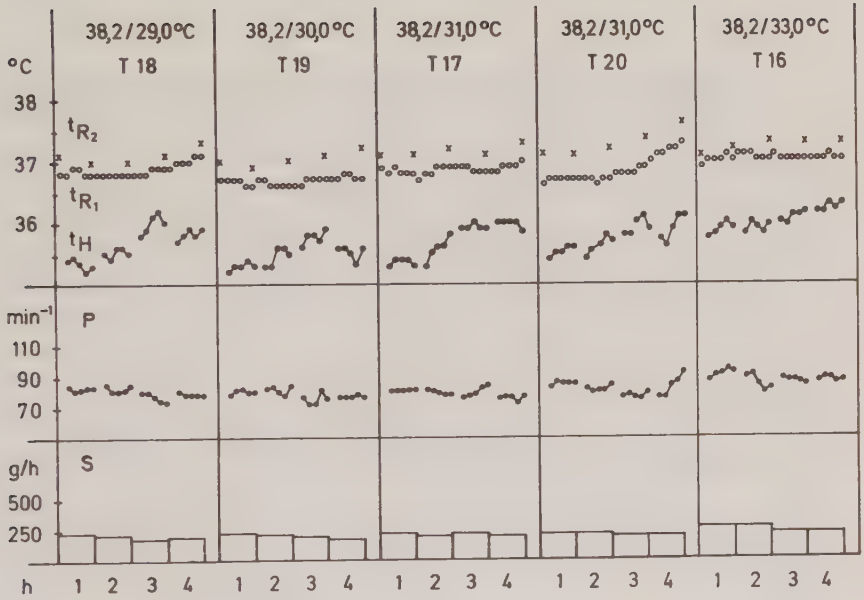

Abb 5 a Verhalten von Rektaltemperatur t_R, Hauttemperatur t_H, Pulsrate P und Schweißmenge S an 5 Versuchstagen mit 38,2° C Trockentemperatur und wechselnder Feuchttemperatur n a c h Akklimatisation. Ein steady state aller Werte wird eben noch bei einer Feuchttemperatur von 33,0° C (T 16 und T 21) erreicht. Einzelwerte von T 15 siehe Tab. 4.

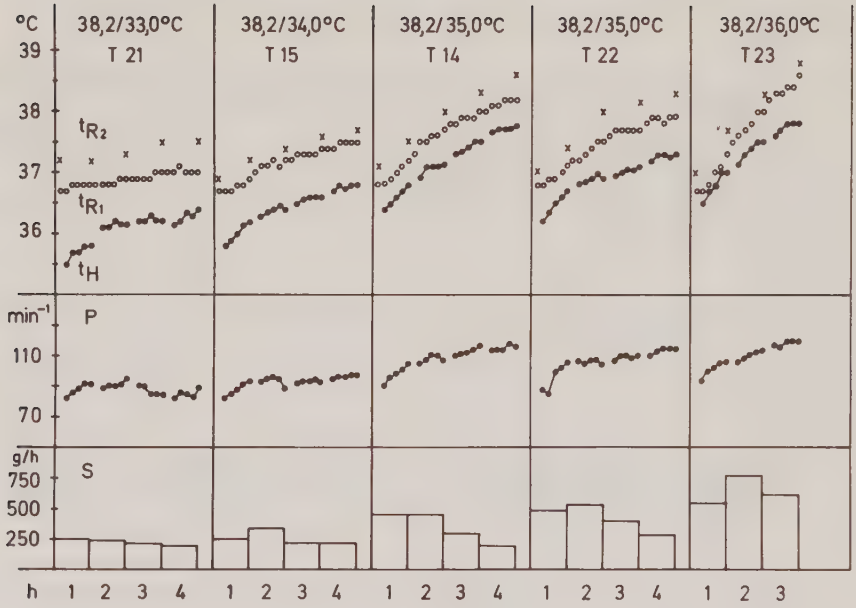

Abb. 5 b Darstellung wie Abb. 5 a (s.d.)

Die Endwerte für die Rektaltemperatur betragen 38,6° C (T 14) und 38,3° C (T 22) Quecksilberthermometer, diejenigen der Hauttemperatur 37,7° C (T 14) und 37,3° C T 22).

Die Vermutung liegt nahe, daß im Verlauf der Versuchstage T 14 - T 23 nochmals eine Akklimatisationssteigerung aufgetreten ist. Das würde bedeuten, daß eine elftägige Akklimatisation unter den hier angewandten Bedingungen (siehe Versuchsplan und Abb. 7) nicht für eine maximale Anpassung an Hitzebelastungen ausgereicht hat. HÄNSSLER (1973) fordert für eine ausreichende Akklimatisation bei einer Arbeitsbelastung von 10 mkp/sec und einem Klima von 31,0° C Feuchttemperatur und 36,0° C Trockentemperatur eine tägliche Expositionszeit von mindestens dreieinhalb Stunden über die Dauer von 16 Tagen. Bei GRUNDEL (1975) findet man bei gleicher Arbeitsbelastung und dem Klima 28,0° C Feuchttemperatur / 40,0° C Trockentemperatur eine tägliche Expositionszeit von 4-5 Stunden über 12 Tage hinweg. Darauf wird in der Diskussion noch eingegangen.

Will man die grobe Festlegung der Klimagrenze anhand der gemessenen physiologischen Parameter hier versuchen, so findet man ein übereinstimmendes Ansteigen aller Werte am ehesten in Abb. 5 b am Versuchstag T 15 bei einer Feuchttemperatur von 34,0° C. Vor der Akklimatisation kann man diese Grenze am Versuchstag T 3 bei einer Feuchttemperatur von 33,0° C erkennen. Die Toleranzgrenze hat sich also nach Akklimatisation erwartungsgemäß in Richtung höherer Feuchttemperaturen verschoben.

In der Abb. 6 ist die Schweißsekretion pro Stunde als Funktion der Dampfdruckdifferenz Haut-Luft aufgetragen. Der Wendepunkt der Schweißkurve S ist ver-

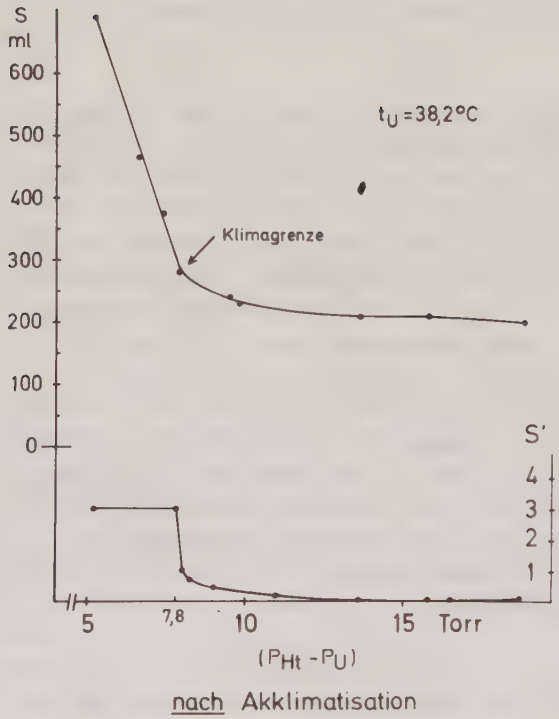

Abb. 6 Abhängigkeit der Schweißrate S (arithmetische Mittelwerte der 2. und 3. Stunden) von der Dampfdruckdifferenz Haut-Luft (p_{HT} - p_U) bei der Trockentemperatur t_U = 38,2° C.
1. Ableitung S' der S-Kurve.

deutlicht durch die erste Ableitung S' von S. Die Schweißmengen steigen mit kleiner werdenden Dampfdruckdifferenzen zunächst nur geringfügig an, um am Wendepunkt bei 7,8 Torr dann sehr stark linear zuzunehmen.

Wie leicht zu erkennen ist, hat sich nach Akklimatisation die Klimagrenze in den Bereich weniger günstiger Verdunstungsverhältnisse verschoben. Um das zum kritischen Punkt gehörige Klima zu erhalten, braucht analog dem Vorgehen in Abb. 3 nur der dazugehörige Umgebungsdampfdruck P_U zeichnerisch ermittelt zu werden (Abb. 8).
Für die in Abb. 6 gefundene Klimagrenze findet man ein P_U von 38,0 Torr. Die relative Feuchte errechnet sich aus

$$\frac{P_U}{P_S} \cdot 100 = \frac{38,0}{50,2} = 75,7\ \%,$$

was einer Feuchttemperatur von 34,0° C entspricht. (P_S = Sättigungsdampfdruck bei Hauttemperatur).
Damit bestätigt sich hier die Richtigkeit der in Abb. 5 b gefundenen Klimagrenze, die aufgrund des Verhaltens von P RT und HT ermittelt wurde. Dieses Ergebnis deckt sich zudem sehr gut mit dem von KOHLER (1976,S 15), der zu einer Feuchttemperatur von 34,2° C kommt.

Die P u l s f r e q u e n z erreicht an der Klimagrenze einen Wert von 96/min und liegt damit weit niedriger als der Durchscnittswert der von WENZEL (1964,S.79) angegebenen Autoren ($\bar{x}$ = 125/min), diese Werte wurden jedoch unter Arbeitsbedingungen ermittelt. KOHLER (1976) beschreibt für eine ruhende, akklimatisierte Vp eine Pulsrate von 85/min an der Klimagrenze bei einer Trockentemperatur von ebenfalls 38,2° C und Maximalwerte von 115/min. (Der Maximalwert lag im vorliegenden Falle bei 119/min), obwohl die Klimagrenze erst bei 7,4 Torr Dampfdruckdifferenz erreicht wird. Zur besseren Übersicht sind die Ergebnisse an der von KOHLER (1976) bestimmten Klimagrenze für 38,2° C denen der vorliegenden Arbeit in Tab. 4 gegenübergestellt.

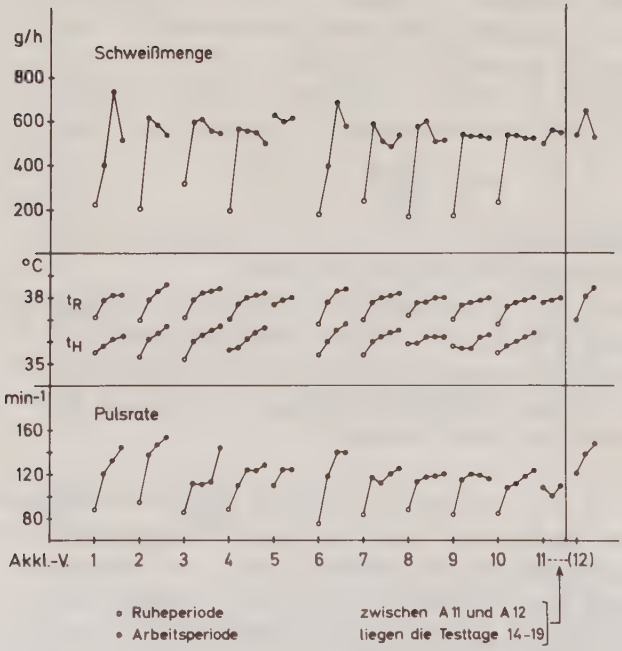

Abb. 7 Stündlich gemessene Werte für Schweißmenge, Pulsrate, Rektal- und Hauttemperatur (t_R, t_H) an den einzelnen Tagen der Akklimatisationsperiode bei der Trockentemperatur t_U = 38,2° C und einer Feuchttemperatur von 29° C.

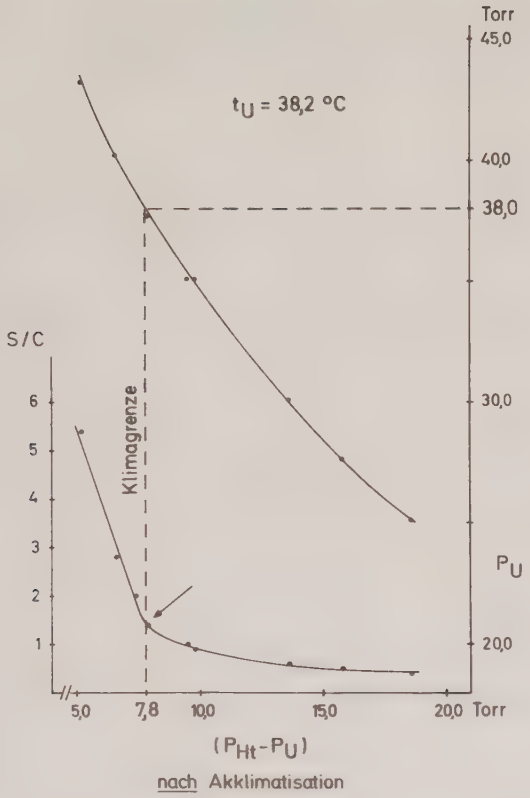

Abb. 8 Verhalten von S/C gegenüber der Dampfdruckdifferenz Haut-Luft (p_{HT}-p_U) nach Akklimatisation. Toleranzgrenze am Wendepunkt der S/C-Kurve bei 7,8 Torr. Bestimmung der relativen Luftfeuchtigkeit an der festgestellten Klimagrenze mit Hilfe der dazugehörigen p_U-Kurve.

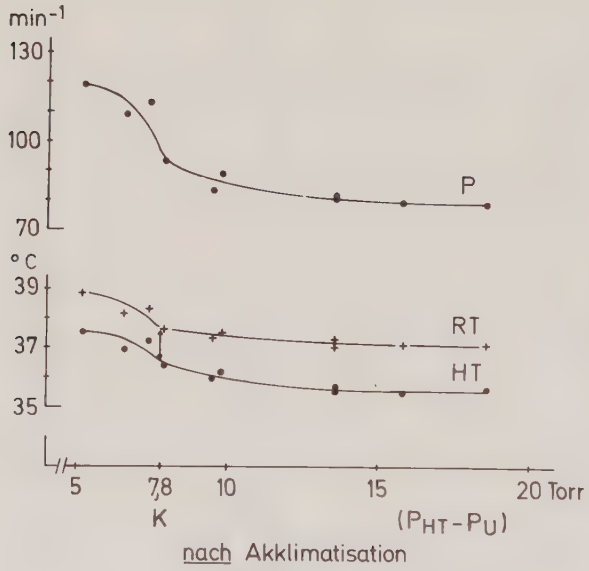

Abb. 9 Abhängigkeit von Pulsfrequenz P, Rektaltemperatur RT und Hauttemperatur HT von der Dampfdruckdifferenz Haut-Luft ($P_{HT} - P_U$).
Bei 7,8 Torr erreicht der innere Temperaturgradient den Wert von 1,0° C (siehe Pfeil).

Tab. 3 Dampfdruckdifferenzen (Haut-Luft), Schweißsekretion (Mittelwerte der 2. und 3. h), Rektaltemperaturen (Ende der 3. h) und Hauttemperaturen (Mittelwerte der 2. und 3. h) an einigen Versuchstagen n a c h Akklimatisation.

Versuchstag	pHt-P_U Torr	S (Kcal/h)	RT (°C)	HT (°C)
⟶ T 23	5,2	800	38,8	37,5
⟶ T 22	6,6	539	38,2	36,9
⟶ T 14	7,4	436	38,3	37,2
⟶ T 15	7,9	325	37,6	36,5
T 16	9,5	278	37,3	36,0
T 21	9,8	267	37,5	36,1
T 17	13,6	244	37,1	35,6
T 19	15,8	244	37,1	35,5

Die mit einem Pfeil gekennzeichneten Versuchstage liegen jeweils oberhalb der Klimagrenze.

Tab. 4 Vergleich einzelner Daten unter den Bedingungen der Hitzetoleranzgrenze bei ruhender Versuchsperson nach Akklimatisation.

	KOHLER (1976)	ZINTL (1978)
Trockentemperatur	38,2° C	38,2° C
Luftbewegung	0,5 m/sec	0,5 m/sec
Feuchttemperatur	34,2° C	34,0° C
$P_{Ht} - P_U$	7,4 Torr	7,8 Torr
Rektaltemperatur RT	37,4° C	37,7° C
Mittlere Hauttemperatur HT	36,7° C	36,7° C
Innerer Temperaturgradient	0,7°C	1,0°C
Pulsrate P	84/min	97/min
Schweißmenge S (Durchschnitt der 2. u. 3.h)	425 g	280 g
Schweißmenge S zeichnerisch ermittelt	400 g	290 g
S/C	1,8	1,6
S/V	2,0	2,2
V/C	0,9	0,7

Der i n n e r e T e m p e r a t u r g r a d i e n t erreicht an der von uns bestimmten Klimagrenze einen Wert von 1,0° C und deckt sich damit mit dem von LEITHEAD a. LIND (1964) angegebenen Wert.

Erstaunlich ist die kleine Temperaturdifferenz von 0,7° C bei KOHLER (1976), die darauf zurückzuführen ist, daß die Rektaltemperatur einen um 0,3° C niedrigeren Endwert erreicht (vgl. Tab. 4), wohl eine Folge der wesentlich höheren Schweißproduktion bei gleicher mittlerer Hauttemperatur.
Die in unserem Falle höhere R e k t a l t e m p e r a t u r von 37,7° C dürfte auch die Ursache für die höhere Pulsrate sein, denn KOHLER (1976) erreicht geringere Pulszahlen trotz eines um 0,3° C geringeren inneren Temperaturgradienten. Die Kreislaufbelastung scheint also nicht mit der inneren Temperaturdifferenz zu korrelieren - vgl. ASCHOFF (1958) - sondern zeigt vielmehr eine Abhängigkeit von der Kerntemperatur.
In Abb. 9 läßt sich noch einmal sehr gut die Richtigkeit der in Abb. 6 gefundenen Klimagrenze demonstrieren. Die Kurven von Pulsfrequenz, Rektal- und Hauttemperatur erreichen ihre größte Steigung und ihren Wendepunkt bei derselben Dampfdruckdifferenz wie die S-Kurve in Abb. 6.
Der innere Temperaturgradient sinkt zum ersten Mal auf den Wert von 1,0° C.
V o r Akklimatisation dagegen findet man nur einen exponentiellen Anstieg der S-Kurve im Diagramm, einen Wendepunkt gibt es hier nicht.

D. Diskussion

Die physiologischen Reaktionen im Bereich der Hitzetoleranzgrenze in Abhängigkeit von der Luftfeuchte bei ruhender Versuchsperson sollen in weiteren Abbildungen verdeutlicht werden.
In Abb. 10 sind bei einer Trockentemperatur von 38,2° C die Verdunstungskapazität C/h, die Verdunstungsgröße V/h, die Schweißmenge S/h und die vom Körper gespeicherte Wärmemenge Q/2h in kcal gegen ($p_{HT} - p_U$) aufgetragen, zusätzlich, der besseren Übersichtlichkeit wegen, in Abb. 11, neben der Schweißrate S die Pulsrate P, die Rektaltemperatur RT und die mittlere Hauttemperatur HT.
In den Abbildungen sind die oben gefundenen Klimagrenzen K durch eine durchgehende vertikale Linie dargestellt. Der Bereich zwischen durchgezogener und gestrichelter Linie stellt die sogenannte Strainzone Z (KOHLER,1976) dar, die nach den Kriterien Pulsrate, Rektal- und Hauttemperatur die eben noch sicher tolerablen Bedingungen von auf Dauer wahrscheinlich intolerablen trennt.
Wie weiter oben schon erwähnt wurde, scheint die zur Bestimmung der Klimagrenze K verwendete Methode v o r Akklimatisation zumindest fragwürdig, da sich zum einen keine Übereinstimmung mit den anderen physiologischen Parametern ergibt und zum anderen die Klimagrenze dann bei einer Feuchttemperatur läge, die um 0,2° C h ö h e r liegt als nach Akklimatisation. Das wäre selbst bei einer unzureichenden Akklimatisation in hohem Maße unwahrscheinlich.
Da die "untere Toleranzgrenze" (gekennzeichnet durch die gestrichelte Linie) auf einem anderen Wege ermittelt wird, sind Aussagen in dieser Beziehung sinnvoll und erlaubt. Wie gut zu erkennen ist, beginnt die Strainzone Z v o r Akklimatisation bereits bei einer höheren Dampfdruckdifferenz.

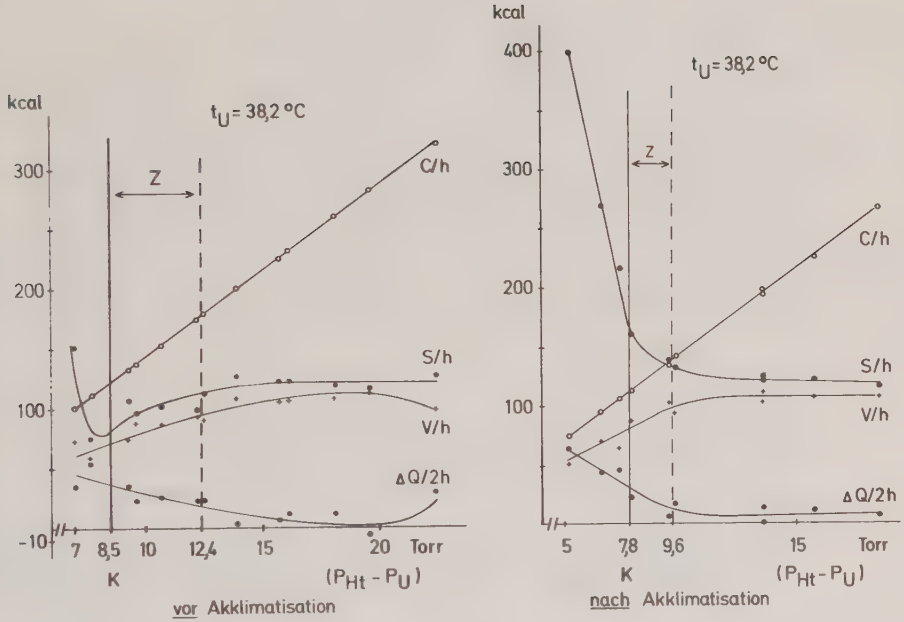

Abb. 10 Verhalten von Schweißrate S, Verdunstungskapazität C, Verdunstungsgröße V, Wärmeinhaltsänderung Δ Q in Abhängigkeit von der Dampfdruckdifferenz Haut-Luft (P_{HT} - P_U) bei der Trockentemperatur t_U = 38,2° C vor und nach Hitzeakklimatisation.
K = Klimagrenze, Z = "Strainzone".
Erläuterungen siehe Tab. 5 und Text.

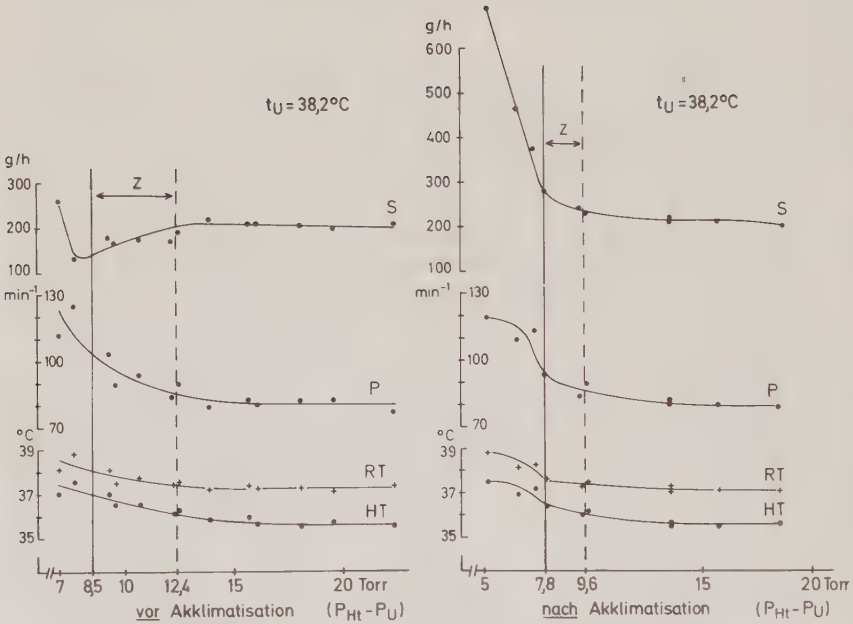

Abb. 11 Verhalten von Schweißrate S, Pulsrate P, Rektaltemperatur RT und Hauttemperatur HT in Abhängigkeit von der Dampfdruckdifferenz Haut-Luft ($p_{HT} - p_U$) bei der Trockentemperatur $t_U = 38,2^{\circ}$ C vor und nach Hitzeakklimatisation.
K = Klimagrenze, Z = "Strainzone"
Erläuterungen siehe Tab. 5 und Text.
Untere Toleranzgrenze vor Akklimatisation bei 12,4 Torr (= T 11 / T 14).
Untere Toleranzgrenze nach Akklimatisation bei 9,6 Torr (= T 16 / T 21).

Die Schweißrate S ist im Bereich höherer Dampfdruckdifferenzen zunächst gleich groß. Sie fällt v o r A k k l i m a t i s a t i o n unmittelbar am Beginn der Strainzone Z ab, wogegen sie n a c h A k k l i m a t i s a t i o n immer stärker ansteigt.

Damit wird verständlich, daß die Verdunstung V v o r d e r A k k l i m a t i s a t i o n einen so geringen Wert erreicht. Sehr deutlich ist der große Abstand der V-Kurve von der Verdunstungskapazität C. Bei 12,4 Torr Dampfdruckdifferenz wird eine Verdunstungsausnutzung V/C von nur 0,5 erzielt. Nach Akklimatisation beträgt V/C an der "unteren Toleranzgrenze" bei 9,6 Torr immerhin 0,7 - zwar auch kein befriedigend hoher Wert, zumal kaum eine weitere Steigerung zu verzeichnen ist - jedoch sind die erwarteten Unterschiede deutlich.

Zusammenfassend kann man sagen, daß der wesentliche Unterschied in der Höhe der Schweißproduktion sich beim Akklimatisierten erst im Bereich der Strainzone auswirkt, die bei geringeren Dampfdruckdifferenzen erreicht wird als vor der Akklimatisation. Eine präzisere Regelung des Wärmehaushaltes rückt tolerable und nicht mehr tolerable Bedingungen enger aneinander, der kritische Bereich Z verschmälert sich.
Abb. 11 zeigt ergänzend zu Abb. 10 das Verhalten von Rektal- und Hauttemperatur sowie der Pulsfrequenz innerhalb der bestimmten Grenzen. Zum besseren Vergleich wurde nochmals die Schweißabgabe eingezeichnet.
V o r A k k l i m a t i s a t i o n weisen alle Parameter eine ständig ansteigende Tendenz auf, ohne daß an den von uns bestimmten Grenzen eine auffallende Veränderung eintritt. Der innere Temperaturgradient von 1,0° C (vgl. Abb. 4) wird innerhalb der Strainzone bei 9,8 Torr erreicht.

N a c h A k k l i m a t i s a t i o n fällt dieser von LEITHEAD und LIND (1964) angegebene Grenzwert exakt mit der von uns bestimmten Klimagrenze zusammen, ebenso die Höchstwerte für Rektal- und Hauttemperaturen (37,7° C / 36,7° C) wie sie von GRUNDEL (1975) - unter Ruhebedingungen - und ERTLE (1975) - in einem Arbeitsversuch - gefunden werden.
Für gerade noch tolerable Bedingungen fordert ERTLE zudem eine Pulsfrequenz kleiner gleich 100/min, bei GRUNDEL finden sich Werte zwischen 90 und 100/min. Auch diese Befunde können im vorliegenden Versuch bestätigt werden. Der gesamte Verlauf der Kurven zeigt charakteristische Veränderungen, wie sie in Tab. 5 aufgeführt sind.

Die direkte Proportionalität von $C \sim (p_{HT} - p_U)$ ist in Abb. 10 klar zu erkennen. Steigt der Dampfdruck der Luft p_U mit der Feuchtigkeit an, so resultiert eine kleinere Differenz $(p_{Ht} - p_U)$ und die notwendige Wärmeabgabe durch Verdunstung wird ab einem gewissen Punkt nicht mehr möglich sein. Sobald die maximale Verdunstung erreicht wird, also V/C = 1 wird, führt eine weitere Steigerung der Luftfeuchte zu völlig unzureichenden Verdunstungsgrößen.

Wie aus den Kurvenverläufen ersichtlich ist, wird ein V/C = 1 jedoch bei ruhender Vp an der Klimagrenze nicht erreicht. Die hierzu notwendige Schweißmenge $S > 2C$ wird nicht sezerniert (HÖFLER et al., 1969).

Im Bereich unterhalb der Strainzone genügt die sezernierte Schweißmenge völlig, um für ein Gleichgewicht im Wärmehaushalt zu sorgen, da fast der gesamte Schweiß verdunstet wird. S/V liegt nur wenig über 1 und $C > S$. Im Bereich der Strainzone nimmt die Verdunstungsgröße V trotz steigender

Tab. 5 zu Abb. 10 und Abb. 11 — Die physiologischen Reaktionen einer ruhenden Vp auf Hitzebelastung bei 38,2° C Trockentemperatur und variabler Luftfeuchte nach Hitzeakklimatisation.

	voll kompensierte Zone	"Strainzone"	Hitzetoleranzgrenze	Zone der Hitzeunverträglichkeit
Schweißrate S	geringer Anstieg	exponentiell ansteigend	stärkste Steigung	linearer Anstieg mit größter Steigung
Verdunstungsgröße V	leicht abfallend	stark abfallend	weiterer Abfall	weitere Annäherung an die C-Gerade
Wärmeinhaltsänderung Δ Q	annähernd konstant	ansteigend entsprechend dem V-Abfall	weiterer Anstieg	weiterer Anstieg, Δ Q wird > V
Pulsrate P	geringer Anstieg	exponentiell ansteigend.	größte Steigung	weitere Zunahme mit abnehmender Steigungstendenz
Rektal-, Hauttemperatur RT, HT	annähernd konstant	stärker ansteigend	größte Steigung	weitere Zunahme mit abnehmender Steigungstendenz
innerer Temperaturgradient	> 1,4	1,4 bis 1,0	1,0	1,0 bis 1,3

Schweißmenge S ab, da sich die Verdunstungskapazität C immer mehr der Verdunstungskurve V annähert und ein V/C = 1 nur unter optimalen Bedingungen erreicht werden kann, d.h., die gesamte Körperoberfläche müßte der umgebenden Luft zugänglich sein und für den Körperteil mit dem geringsten Schweißmengenanteil müßte S/C = 1,7 werden (van ACKEREN, 1972). Außerdem ist S noch kleiner als 2C. Da die Verdunstungsgröße V abfällt, müssen sich Hauttemperatur, und mit geringer Verzögerung auch die Rektaltemperatur, erhöhen. Die Folge davon ist eine entsprechende Zunahme der vom Körper gespeicherten Wärmemenge Δ Q. Als Folge der Mehrbelastung des Organismus erhöht sich auch die Pulsrate in entsprechendem Maße (Abb. 11).
Oberhalb der Klimagrenze weist die S-Kurve einen enorm steilen Verlauf auf, ohne daß eine abnehmende Tendenz erkennbar wäre, ein Zeichen der absolut unzureichenden Verdunstung. Obwohl die Bedingungen für eine maximale Verdunstung, nämlich S>2C, schon kurz nach Überschreiten der Klimagrenze gegeben sind (S/C = 2,4 bei 7,0 Torr Dampfdruckdifferenz), wird diese im gesamten Versuch nicht erreicht. V/C als Ausdruck der Verdunstungsausnutzung mit der Größe 0,72 macht dies deutlich.
Selbst bei sehr hohen S/C - Werten von 5,4 wird nur eine Verdunstungsausnutzung von 75 % der maximalen Verdunstung erzielt.
Auffällig erscheint, daß eine maximale Verdunstung V/C = 1 nicht zustandekommt, obwohl mehr als fünfmal soviel Schweiß produziert wurde als verdunsten konnte, die Körperoberfläche demnach sicherlich gleichmäßig mit Schweiß bedeckt war.
Die Verdunstungsgröße in einem gegebenen Klima hängt von der Hauttemperatur und der Schweißmenge ab. Da die Schweißmenge hier sicherlich ausreichend groß war, muß angenommen werden, daß für eine maximale Verdunstung zu niedrige Hauttemperaturen herrschten. Bei KOHLER (1976) wird die

maximale Verdunstung V/C = 1 bei ungefähr 5,3 Torr Dampfdruckdifferenz Haut-Luft erreicht (Trockentemperatur: 38,2° C). S/C beträgt an dieser Stelle 5,5, die Hauttemperatur 37,3° C. Bei derselben Dampfdruckdifferenz beträgt der Quotient S/C in unserem Versuch 5,2, die Hauttemperatur 37,5° C, also höher als bei KOHLER. Trotzdem wird keine maximale Verdunstung erzielt.

Zur Beziehung V/C = 1,0 wenn S/C größer 2C wäre jedoch zu sagen: Die Voraussetzungen für die Berechnung gelten nur bei konstanter HT und RT, also für das steady state der Wärmebilanzgrößen. Um jeden einzelnen Posten der Wärmebilanzgleichung zu berechnen, braucht man ja zuverlässige Werte von Q_C, Q_S und dQ (berechnet aus dem Mittelwert einer Stunde ohne erkennbare Tendenz). Diese Voraussetzung gilt jenseits der Grenze nicht mehr, weil HT und RT schon vorher ansteigen. Wenn bei KOHLER jenseits der Grenze V=C noch erreicht wird, so erlaubt dies keine sinnvolle Aussage mehr.
Unterhalb der Toleranzgrenze wird jedoch auch weder bei KOHLER (1976) noch in dem vorliegenden Versuch V=C ganz erreicht. Ausgearbeitet, und in mehreren Versuchen bestätigt, wurde die Beziehung zwischen V/C und S/C allerdings bei arbeitender Vp. In einem Versuch mit sitzender, ruhender Vp war C tatsächlich der limitierende Faktor für die Hitzetoleranz und V/C betrug knapp unter der Grenze 1,0, ebenso knapp darüber (GRUNDEL,1975).
Das Erreichen der maximal möglichen Verdunstung C erfordert nach van ACKEREN (1972) einen Schweißmengenanteil S/C größer als 1,7 auch für d e n Teil der Körperoberfläche, der die geringste Schweißsekretion aufweist. Ob diese Voraussetzung erfüllt wird, hängt wiederum maßgeblich vom Grad der Akklimatisation und von der produzierten Gesamtschweißmenge ab. Natürlich muß auch nach

Möglichkeit die gesamte Körperoberfläche der umgebenden Luft zugänglich sein. Die sitzende Körperhaltung und die Bekleidung mit Shorts erklären jedoch nicht die sehr geringe Verdunstungsausnutzung von nur 70 % der Verdunstungskapazität.
In der vorliegenden Arbeit sowie in den Versuchen von KOHLER (1976) liegen die S/C - Werte an der Toleranzgrenze jeweils u n t e r 2,0 (1,6/1,8 vgl. Tab. 4), die Gesamtschweißproduktion ist also noch nicht ausreichend hoch. Somit findet sich hier die Erklärung für die Tatsache, daß V/C = 1 nicht erreicht werden konnte, sondern nur ein V/C = 0,9 bzw. 0,7.
Die S/C - Werte knapp unter der Toleranzgrenze in der Arbeit von GRUNDEL (1975) liegen dagegen bei vier verschiedenen Trockentemperaturen zwischen 2,1 und 3,2 ($\bar{x}$ = 2,5).
Das würde bedeuten, daß unsere Akklimatisationsbedingungen, wie auch diejenigen von KOHLER, für eine optimale Anpassung an Hitzebelastungen unzureichend waren. Tatsächlich sind diese Anforderungen bei GRUNDEL höher, was nachfolgende Übersicht verdeutlichen soll (Tab. 6).
GRUNDEL akklimatisierte sich zwar auch nur über einen Zeitraum von 12 Tagen bei einer Leistung von 10 mkp/sec, jedoch lag die Trockentemperatur um 2° C höher, während die Feuchttemperatur nur um 1° C niedriger war. Die tägliche Versuchsdauer war zudem im Durchschnitt eine Stunde länger als bei den anderen aufgeführten Autoren. Ein Vergleich der sich dadurch ergebenden Veränderungen bezüglich der untersuchten physiologischen Parameter zeigt Tab. 7.
Bei der Interpretation muß berücksichtigt werden, daß unserer Akklimatisationsperiode die Versuchstage T 1 - T 13 vorausgehen, die vermutlich schon zu einer gewissen Akklimatisation geführt haben, ebenso wie bei HÄNSSLER, bei dem ein 21-tägiges Kalttraining bei 20° C und einer

Tab. 6 Vergleich der äußeren Bedingungen für die Akklimatisationsperiode bei GRUNDEL (1975), KOHLER (1976) und ZINTL (1978). Die von HÄNSSLER (1973) angeführten Werte entsprechen der Versuchsbedingung 4, die als optimal angegeben wird, und auf einem Vergleich von vier unterschiedlichen Akklimatisationsbedingungen beruht.

	Akklimat.-Dauer in Tagen	Trockent./Feuchtt. in °C	Arbeit in mkp/sec	durchschnitt. Ak.-Dauer/Tag
GRUNDEL	12	40 / 28	10	4 - 5 h
KOHLER	12	38 / 29	10	3 - 4 h
ZINTL	11	38 / 29	8	3 - 4 h
HÄNSSLER	16	36 / 31	10	3,5 h

Tab. 7 Vergleich der während der Akklimatisation gefundenen Veränderungen von Rektaltemperatur RT, mittlerer Hauttemperatur HT, Pulsfrequenz P und Schweißmenge S, am Ende der Arbeitsstunden für die jeweils am Anfang/Ende liegenden Versuchstage, die in Klammer angegeben sind.

1) Akklimatisation nach vorausgegangenen 13 Testtagen mit (38,2/27-35° C) Trocken- bzw. Feuchttemperatur.

2) Akklimatisation nach vorausgegangenem 21-tägigen sog. Kalttraining (20° C/ 10 mkp/sec) über die Dauer von jeweils 4 x 50 min.

	RT (°C)	HT (°C)	P (min^{-1})	S (g/h)
GRUNDEL	38,0 / 37,6	36,5 / 35,6	159 / 115	806 / 971
	(1) (11-12)	(4) (12)	(1) (11-12)	(1) (12)
KOHLER	38,2 / 38,3	36,4 / 36,7	148 / 146	760 / 770
	(1) (11-12)	(4) (9)	(1) (11-12)	(1) (11)
ZINTL 1)	38,1 / 38,0	36,4 / 36,7	144 / 110	514 / 549
	(1) (11)	(4) (9)	(1) (11)	(1) (11)
HÄNSSLER 2)	38,6 / 37,8			886 / 992
	(2) (16)			(1) (16)

Arbeit von 10 mkp/sec über 4 x 50 min/Tag vorausging. Wie aus Tab. 7 ersichtlich wird, haben die Akklimatisationsbedingungen bei GRUNDEL und HÄNSSLER in jeder Hinsicht zu den günstigeren Bedingungen geführt: Die Schweißmengen zeigen die stärkste Steigerung, die Abnahme der Pulsfrequenz und der Hauttemperatur tritt bei GRUNDEL am deutlichsten hervor. Die Rektaltemperatur zeigt eine Abnahme bis nahezu in den Normbereich. Pulsfrequenz und Temperaturen erfüllen bei GRUNDEL sogar steady-state-Bedingungen. Die Werte von KOHLER lassen eine Akklimatisation hier überhaupt nicht erkennen. Nur aufgrund einer schon zu Beginn der Akklimatisation höheren stündlichen Schweißmenge als in unserem Versuch läßt sich die Tatsache erklären, daß KOHLER bei den anschließenden Testversuchen an der Klimagrenze ein V/C = 0,9 erreicht.

Da natürlich nicht auszuschließen ist, daß individuelle Faktoren für die Höhe des erreichten Akklimatisationsniveaus mitverantwortlich sind (Alter, bereits erworbene Trainingsvorsprünge durch das sogenannte Kalttraining - vgl. LEHMANN, 1965 -, jahreszeitliche Unterschiede während der Versuchsdurchführung usw.), wäre es wünschenswert, diesen Faktoren eine stärkere Beachtung zu schenken. Auch an Versuchstagen mit identischen Klimabedingungen können sich Schwankungen der physiologischen Reaktionen, besonders knapp unterhalb der Toleranzgrenze, ergeben, wie ein Vergleich der Versuchstage T 17 und T 20 in der Abb. 7a zum Beispiel zeigt.
Um die Befunde von GRUNDEL (1975) zu erhärten - nämlich daß ein Akklimatisierter auch in ruhendem Zustand an der Hitzetoleranzgrenze die Verdunstungskapazität voll auszunutzen in der Lage ist - wären weitere Versuche mit entsprechend belastenden Akklimatisationsbedingungen erforderlich.

Um die gerade noch tolerablen Bedingungen näher eingrenzen zu können, wird vorgeschlagen, die tägliche Versuchsdauer nicht auf vier Stunden zu begrenzen. Es läßt sich nämlich in vielen Fällen nicht voraussagen, ob nicht nach weiteren Versuchsstunden doch noch ein steady state erreicht wird.
Wie der Vergleich von Tagen mit gleicher Feuchttemperatur innerhalb einer Versuchsserie ergab, können sich besonders vor Akklimatisation bei einer Vp große Unterschiede im Verhalten der physiologischen Meßgrößen ergeben. Ob sich diese bei längerer Versuchsdauer pro Tag angleichen, läßt sich nicht beurteilen. Es wäre durchaus möglich, daß durch einen Dauerversuch, bei dem auch die Bedingungen zwischen den täglichen Versuchsstunden kontrollierbar sein müßten, eben noch tolerierte Hitzebelastungen mit größerer Genauigkeit bestimmen lassen.
Die Versuche an den Tagen 1 - 13 sollten unter den genannten Bedingungen wiederholt werden, wobei darauf geachtet werden soll, daß zwischen den einzelnen Versuchstagen mehr als ein Ruhetag eingeschoben wird, um eine unerwünschte Akklimatisation zu verhindern.

E. Zusammenfassung

In einem 6-wöchigen Klimakammerversuch in den Monaten Februar und März 1976 werden die physiologischen Reaktionen einer 27-jährigen männlichen Versuchsperson unter Ruhebedingungen v o r und n a c h Hitzeakklimatisation miteinander verglichen.
Als wichtigste Größe wird das Verhalten der Schweißsekretion angesehen.
In Bezug auf die Hitzetoleranzgrenzen nach Akklimatisation zeigen sich die Ergebnisse von KOHLER (1976) bestätigt: Die sicher nicht mehr tolerablen Bedingungen lassen sich durch eine Unstetigkeit in der Funktion $S = f (p_{HT} - p_U)$ eindeutig abgrenzen. Die sicher eben noch tolerablen Bedingungen werden nach dem Vorschlag von WENZEL (1968) anhand von Pulsrate, Rektal- und Hauttemperatur gekennzeichnet. Zwischen beiden Grenzlinien liegt ein Bereich, in dem die Hitzetoleranz wahrscheinlich von der Expositionsdauer bestimmt wird. Anzustreben wäre eine längere tägliche Versuchsdauer, um gerade noch tolerable Bedingungen näher eingrenzen zu können.
Nach GRUNDEL (1975) wird die absolute Toleranzgrenze auch unter Ruhebedingungen von der Verdunstungskapazität bestimmt. Dieses Ergebnis findet weder in der vorliegenden Arbeit noch in den Versuchen von KOHLER (1976) eine Bestätigung, allerdings sind allen Arbeiten unterschiedliche Akklimatisationsbedingungen zugrundegelegt.
Daraus ergibt sich der Vorschlag für eine Wiederholung unserer Versuche unter den Akklimatisationsbedingungen von GRUNDEL (1975).
V o r der Akklimatisation läßt sich das Verhalten der

Schweißrate dagegen nicht als Kriterium zur Beurteilung der absoluten Hitzetoleranzgrenze verwenden.
Da es im Verlauf der ersten Versuchstage zu einer unerwünschten Akklimatisation gekommen war, sollte diese Versuchsserie mit mehr als einem Ruhetag zwischen den einzelnen Versuchen wiederholt werden.

F. Literaturverzeichnis

ASCHOFF, J.: Hauttemperatur und Hautdurchblutung im Dienst der Temperaturregulation. Klin.Wschr. 36, 193-202 (1958)

ASCHOFF, J.: Wärmehaushalt. In: Landois-Rosemann, Lehrbuch der Physiologie des Menschen, 28. Aufl., S. 331-369, München-Berlin: Urban u. Schwarzenberg 1960.

BALG, G.: Beziehung zwischen Verdunstung und Schweißmenge bei Hitzearbeit. Diss. Tübingen 1970

CLIFFORD, J., KERSLAKE, D.McK, WADDEL, J.L.: The effect of wind speed on maximum evaporation capacity in man. J.Physiol. (Lond.) 147, 253-259 (1959).

DUBOIS, D., DUBOIS, E.F.: The measurement of the surface area of man. Arch.int.Med. 15, 868-881 (1915)

EICHNA, L.W., PARK, C.R., NELSON, N., HORVATH, S.M., PALMES, E.D.: Thermal regulation during acclimatisation in a hot, dry (desert-type) environment. Amer.J.Physiol. 163, 585-597 (1950)

ERTLE, A.: Linien gleicher Kerntemperatur und gleicher Pulsfrequenz bei verschiedenen Kombinationen von Lufttemperatur und Luftfeuchte. Diss.Tübingen 1975

GÄCKLE, F.: Schweißabgabe bei verschiedenen Kombinationen von Lufttemperatur und Luftfeuchte. Diss. Tübingen 1975

GERKING, S.D., ROBINSON, S.: Decline in the rates of sweating of men working in severe heat. Fed. Proc. 5, 32 (1946).

GRUNDEL, U.: Verlauf der Hitzetoleranzgrenze im Sitzen. Diss. Tübingen 1975

HÄNSSLER, K.: Zur Bedeutung der Expositionsdauer für den Verlauf der Hitzeakklimatisation. Diss. Tübingen 1973

HÖFLER, W.: Hitzeakklimatisation
Hippokrates 39. Jahrg. 14, 517-524 (1968)

HÖFLER, W., LADIPOH, J., LAASER, U.: Beziehung zwischen Schweißmenge, Verdunstung und Körpertemperatur bei der Akklimatisation in künstlichem feuchtheißen Klima.
Int.Z. angew.Physiol. 27, 34-42 (1969)

HÖFLER, W., JOCHER, T.: Factors determining the tolerance limit for prolonged work in heat.
9. Intern.Congress on Tropical Med. and Malaria, Vol. 1, 212. Athens 1973.

JOCHER, T.: Vergleich verschiedener Klimagrenzen für nicht tolerable Kombinationen von Temperatur und Luftfeuchte bei Hitzearbeit.
Diss. Tübingen 1973

KERSLAKE, D.McK: Errors arising from the use of mean heat exchange coefficients in the calculation of the heat exchanges of a cylindrical body in a transverse wind.
Temp.Meas.Contr.Sc.Ind., p. 183-189.
New York: Reinhold 1963.

KIRN, A.: Der Wärmetoleranztest als konstitutionsdiagnostische Methode. Zbl. für Arbeitsmed. u. Arbeitsschutz 14 (1964).

LEHMANN, G.: Die Arbeitsfähigkeit des Menschen im tropischen Klima.
Veröffentlichung der AG. f. Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen Heft Nr. 144, Köln-Opladen (1965)

LEITHEAD, C.S., LIND, A.R.: Heat stress and heat disorders. London:Cassel 1964

MACHLE, W., HATCH, T.F.: Heat: Man's exchanges and physiological responses. Physiol.Review 27, 200-227 (1947).

McARDLE, B., DUNHAM, W., HOLLING, H.E., LADELL, W.S.S., SCOTT, J.W., THOMSON, M.L., WEINER, J.S.: The prediction of the physiological effects of warm and hot environments. Med. Res. Couns. Lond. R.N.P. Rep. No. 47/391 (1947).

VAN ACKEREN,G.: Beziehung zwischen regionaler Verteilung der Schweißproduktion und Abweichung von der "PREDICTED FOUR-HOUR SWEAT RATE" Int.Z. angew. Physiol. 31, 11-40 (1972).

VOGEL, F.: Der Einfluß des Trinkregimes auf Schweißmengen und Wärmebilanzgrößen. Dissertation Tübingen 1977.

WENZEL, H.G.: Arbeit in hohen Temperaturen. In:Lehmann,G.: Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin. Stuttgart 1961

WENZEL, H.G.: Möglichkeiten und Probleme der Beurteilung von Hitzebelastungen des Menschen. Arbeitswissenschaft 3, 73-83 (1964).

WENZEL, H.G.: Über die Bedeutung von Herzfrequenz, Körpertemperatur und Schweißabgabe des Menschen bei Hitzearbeit als Kriterium zur Beurteilung der Belastungshöhe. Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Arbeitshygiene 3, 76-80 (1968).

WHO: Report of a WHO Scientific Group (BELDING, H.S., GIVONI, B., GUPTA, M.N., HAMAR, N., LAVENNE, F., LIND, A.R., METZ, B., SHABHAZJAN, S.H., WENZEL, H.G.): Health factors involved in working under conditions of heat stress. WHO Techn. Rep. Ser., No. 412 (1969).

WINSLOW, C.-E. A., HERRINGTON, L.P., GAGGE, A.P.: The determination of radiation and convection exchanges by partitional calorimetry. Amer. J. Physiol. 116, 669-684 (1936)

WYNDHAM, C.H., STRYDOM, N.B., MORRISON, J.F., WILLIAMS, C.G., BREDELL, G.A.G., PETER, J.: Fatique of the sweat gland response. J.Appl.Physiol. 21, 107 (1966).

DANK

Herrn Prof. Knüttgen danke ich für die Arbeitsmöglichkeit in seinem Institut.
Herrn Prof. Höfler verdanke ich die Überlassung des Themas dieser Arbeit. Bei ihm fand ich jederzeit eine freundliche Unterstützung in jeder Hinsicht.
Fräulein Hermann verbrachte viele Stunden mit der Registrierung der Meßdaten und dem Anfertigen der Zeichnungen, wobei sie die häufigen Änderungswünsche mit der größten Gelassenheit aufnahm.

LEBENSLAUF

Am 26. Juli 1949 wurde ich, Wolfgang Zintl, als Sohn des Dr. med. Ludwig Zintl und seiner Ehefrau Selma, geb. Baumann, in Schwenningen am Neckar geboren.

Nach dem Besuch der Grundschule besuchte ich das Städtische Gymnasium in Schwenningen und erlangte dort am 3.6.1969 das Zeugnis der allgemeinen Hochschulreife.

Zunächst leistete ich ein mehrere Monate dauerndes Krankenpflegepraktikum an der Chirurgischen Universitätsklinik Tübingen ab und begann dann im Sommersemester 1970 mit dem Studium der Psychologie und im Wintersemester 1970/71 mit dem Studium der Humanmedizin an der Universität Tübingen.

Am 5. Juli 1978 legte ich vor dem Ausschuß für die ärztliche Prüfung in Tübingen das medizinische Staatsexamen ab.

Seit dem 1. September 1978 bin ich als Medizinalassistent am Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen angestellt.